Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Zahn- und Kieferkrankheiten Bonn.
Direktor: Prof. Dr. med. Proell.

Die Abbindungsdauer der Amalgame und die Ursachen ihrer Formveränderung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 10. Dezember 1937

von

Hans Setzepfandt
Zahnarzt aus Pforzheim

1938

Druckerei und Verlag wissenschaftl. Werke Konrad Triltsch, Würzburg

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Bonn.

Referent:
Prof. Dr. Proell.

Korreferent:
Prof. Dr. Korkhaus.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Die Abbindungsdauer der Amalgame und die Ursachen ihrer Formveränderung.

In der konservierenden Zahnheilkunde ist das Amalgam nach wie vor eines der gebräuchlichsten aller Füllmaterialien, werden doch rund 80 % aller Füllungen im Prämolaren- und Molarengebiet aus Amalgam hergestellt. Besonders in der sozialen Praxis ist das Amalgam wegen seiner verhältnismäßig schnellen Verarbeitungsmöglichkeit und nicht zuletzt wegen seiner doch nicht allzu hohen Anschaffungskosten das gebräuchlichste Füllmittel. Über die Unentbehrlichkeit des Amalgams gerade heute in der Zeit der Goldknappheit hat auch A d l o f f in seiner Arbeit „Über den heutigen Stand der konservierenden Zahnheilkunde, Fortschritt? — Rückschritt?" (Z. R. Heft 30, 1937) in eindeutiger Weise gesprochen.

Zu jener Zeit, als noch jeder Zahnarzt selbst sein Amalgam nach eigenem Verfahren herstellte, waren natürlich die Eigenschaften eines jeden verschieden. Jeder setzte schließlich doch nach eigenen Erfahrungen die Legierungen zusammen, jeder dosierte nach seinem Gutdünken, und zudem war der Einfluß des Alterns auf die Amalgame nur sehr wenig bekannt. So geschah es, daß selbst die Eigenschaften e i n e s Amalgams bei einem und demselben Hersteller stark differierten, wenn ein Teil des Amalgams einige Zeit gelagert war.

Erst seit nun die Amalgamherstellung fabriktechnisch ausgebaut worden ist, und die Amalgame auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungen hergestellt werden, sind die Mängel, die den früheren Amalgamen anhafteten, verschwunden. Im Laufe der letzten Jahre erst hat man die günstigste Zusammenstellung der Legierungen klar herausgestellt. Durch die unermüdliche Arbeit der Wissenschaft kennen wir jetzt auch die Folgen der Verwendung von zu sehr bzw. zu wenig gealterten Amalgamen, so daß die Hersteller heute, auf die Erkenntnis der Wissenschaft gestützt, ein einwandfreies Amalgam erzeugen können, das wohl den anspruchsvollsten Anforderungen genügt.

Versuche mit der Jotaampulle gaben mir den Anlaß, auf einen Teil der Amalgamfrage näher einzugehen, nämlich auf die Abbindungsdauer der Amalgame, sowie auf ihre Formveränderung. Die Jotaampulle ist ein Gummisäckchen, ähnlich einem Kinderschnuller, in welchem Amalgam und Quecksilber, schon genauestens dosiert, in den Handel kommen. Durch eine von außen angebrachte Klemme wird das Amalgam von dem Quecksilber getrennt. Beim Entfernen der Klemme kommen Amalgam und Quecksilber zusammen, und man kann sie vermengen, ohne daß

durch Verlust von Amalgam oder Quecksilber die Dosierung ungünstig beeinflußt wird.

Um das Wesen der Abbindung zu verstehen, ist es zunächst einmal erforderlich, die Fabrikationsmethode des Amalgams kennen zu lernen. Bei einer Temperatur von rund 950° Celsius werden zuerst die höchst schmelzenden Metalle Silber und Kupfer in Fluß gebracht. Hierzu werden dann langsam die niedriger schmelzenden Metalle Zink und Zinn gegeben, wodurch sich der Schmelzpunkt um ca. 400° auf 550° Celsius erniedrigt. Dieses so gewonnene Amalgam wird hierauf in Stangen gegossen. Nach dem Erkalten werden die Oberflächen abgefeilt und die Stangen verspant. Nach der Verspanung muß die richtige Korngröße ausgewählt werden, und zwar geschieht dies in der Weise, daß der feine Amalgamstaub durch ein ganz kleinmaschiges Sieb zuerst einmal ausgesondert wird. Was hier zurückbleibt, wird nun nochmals durch ein größeres Sieb gebracht, um die zu großen Teilchen zu entfernen; es geht also nur eine Feilung von ganz bestimmter Korngröße durch das Sieb hindurch. Wir sind daher gewiß, daß immer dieselbe Korngröße erreicht ist, was dann auch ein immer gleichmäßiges Material gewährleistet. Hierauf erfolgt nun die Temperung des Metalls.

Was ist nun diese Temperung? Sie wird durchgeführt, um die natürliche Alterung zu ersetzen. Wir denken uns, daß sie einen Kristallisationsvorgang darstellt, der dadurch beschleunigt wird, daß man mäßige Hitze zuführt, um den Molekülen mehr Bewegung zu geben. Wir stellen uns vor, daß der kristalline Zustand der stabilste ist und daß das Amalgam durch die schnelle Abkühlung nach dem Schmelzen und besonders durch die darauffolgende Verspanung in den amorphen Zustand gebracht ist und nun langsam und bei Wärmezufuhr schneller wieder in den stabilen, das heißt, in den kristallinen Zustand übergeführt wird.

Ein Teil der Legierung wird schon beim Abkühlen in den kristallinen Zustand übergehen, jedoch werden diese Kristalle dann durch die darauffolgende Verspanung wieder zum größten Teil zerstört.

Genau denselben Vorgang beobachten wir übrigens in der Chemie beim Verhalten des Schwefels. Gießt man z. B. hocherhitzten Schwefel zwischen 400 und 450° Celsius in kaltes Wasser, so erhält man eine plastische Masse, die sich ähnlich wie Kautschuk anfühlt und eine beträchtliche Elastizität besitzt. Dies ist der amorphe, in Schwefelkohlenstoff unlösliche -Schwefel, zum Unterschied vom kristallinen -Schwefel. Während nun der rhombische und der monokline -Schwefel aus S_8 Molekülen besteht, kommt dem amorphen -Schwefel das Molekulargewicht S_5—S_6 zu. Diese amorphe Modifikation ist bei gewöhnlicher Temperatur instabil und geht nach längerer Zeit wieder in den gelben rhombischen und sehr spröden -Schwefel über, der die stabile Modifikation darstellt. Schnell kann man diese Umwandlung nach kurzem Erwärmen auf 60—80° erreichen.

Ebenso ist es, wie schon gesagt, bei den Amalgamen und wir können die Erscheinung beim Tempern der Amalgame analog den Erscheinungen beim Erhitzen des Schwefels betrachten.

Ich bemerkte schon, daß auch die Verspanung beim Zerstören der Kristalle eine Hauptrolle spielt. Nehmen wir eine fertig getemperte Fei-

lung und pressen diese durch eine Walze zu Folien, so haben wir ein Produkt vor uns, das, wie wir aus der Quecksilberaufnahme ersehen können, sich wieder vollkommen wie ein ungetempertes Material verhält. Der Hauptunterschied zwischen einem getemperten und einem ungetemperten besteht eben rein äußerlich schon darin, daß ein ungetempertes Material viel mehr Quecksilber aufnimmt, als ein getempertes.

Wird dagegen die Kristallbildung zu weit vorgetrieben, so ist das Amalgam unbrauchbar, weshalb auch von verschiedenen Fabriken verlangt wird, daß alles Amalgam, das älter als 3 Jahre ist, zurückgeschickt wird, eben weil, wenn die Kristallisation schon zu weit vorgeschritten ist, die Quecksilberaufnahme zu gering ist, und dadurch 1. die Güte und Zähigkeit in Frage gestellt ist, 2. die Expansion und 3. die Abbindungszeit zu stark verringert worden sind.

Die Abbindung selbst geht in der Weise vor sich, daß sich neben einem chemischen ein kristalliner Vorgang abspielt.

Uns interessiert besonders, daß die Abbindungszeit dem Verhältnis des kristallinen Vorgangs zu dem des chemischen direkt proportional ist, das heißt, daß, je größer der kristalline Vorgang (Zinngehalt), je länger die Abbindungsdauer, je größer dagegen der chemische (Silbergehalt), desto kürzer die Abbindungsdauer ist. Ogg und Reinders haben gefunden, daß als Produkt des chemischen Vorgangs die Verbindung Ag_3Hg_4 entsteht. Leider ist der kristalline Vorgang nicht so eindeutig festgelegt, denn hier bilden sich Mischkristalle, und das Wesen von Mischkristallen besteht ja darin, daß sie sich in jedem Verhältnis zueinander verbinden. Hierdurch erklärt sich auch, daß wir selbst bei großem Quecksilberüberschuß ein vollkommen abgebundenes Produkt erhalten, wo man doch annehmen sollte, daß sich das Quecksilber hier in feinverteilten Tröpfchen zwischen den einzelnen Amalgampartikelchen befinden müßte. Das günstige Verhältnis der Mischkristalle, die ja aus Zinn und Quecksilber bestehen, zueinander ist das Verhältnis 8 Zinn zu 1 Quecksilber. Dieses Verhältnis hat sich in guten Amalgamen analytisch nachweisen lassen.

Bei der Legierung des 67%igen Silberamalgams bildet sich fast 100%ig die Verbindung Ag_3Sn, die sich bei Amalgamierung folgendermaßen aufspaltet:

Das Silber geht zum großen Teil mit dem Quecksilber in Verbindung zu Ag_3Hg_4. Das Zinn bildet mit dem Quecksilber den Mischkristall 8 Sn, Hg und der übrigbleibende, schon in kristalline Form übergegangene Teil der Verbindung Ag_3Sn bleibt bestehen. Der für das Quecksilber aufnahmefähige Teil verringert sich langsam immer mehr, denn im Laufe der Zeit werden durch natürliche Alterung immer mehr amorphe Ag_3Sn in kristalline Ag_3Sn übergeführt. Wir verstehen jetzt, warum bei zunehmender Alterung die Quecksilberaufnahme immer geringer wird.

Freilich ist nicht daran zu denken, daß diese 3 Produkte als getrennte Bestandteile nebeneinander bestehen bleiben, vielmehr gehen diese einzelnen Gruppen untereinander wiederum lockere Bindungen — neue Mischkristalle — ein. Zwar behauptet Sterner-Rainer, daß das kristalline und nicht durch Quecksilber zersetzbare Ag_3Sn einen Fremd-

körper innerhalb des Gefüges darstellt, der die Festigkeit und die Güte des Materials herabsetzt, doch haben andererseits die Arbeiten von Fasen gezeigt, daß bis zu einer gewissen Temperung die Festigkeitswerte gleichbleiben und erst nach immer weiter fortschreitender Alterung plötzlich steil abfallen. Dies wird eben auch daher kommen, daß der Quecksilberzusatz zu gering ist, um eine vollkommene Durchdringung der Körper zu ermöglichen.

Nach alledem verstehen wir nun, warum ein silberreicheres Amalgam mehr Quecksilber braucht, als ein silberärmeres, denn während bei den Mischkristallen auf 8 Teile Zinn nur ein Teil Quecksilber entfällt, entsprechen bei der chemischen Verbindung 3 Teilen Silber doch 4 Teile Quecksilber. Drücken wir also den Silbergehalt herunter und vergrößern wir demgemäß den Zinngehalt, so wird die Komponente 8 Sn, Hg erhöht und die quecksilberreiche Verbindung Ag_3Hg_4 vermindert.

Wir müssen nun noch den Anteil der kleineren Zusätze wie Gold, Platin, Zink und Kupfer untersuchen. Zwischen Gold und Quecksilber entsteht wahrscheinlich ein Mischkristall, bei dem 4 Teile Quecksilber auf 1 Teil Gold entfallen; Platin geht nur in Anwesenheit von Zink eine Verbindung mit Quecksilber ein. Bei den Zinkamalgamen haben wir wahrscheinlich nur physikalische Gemenge.

Bei Kupferzusatz bildet sich eine vollkommene Kristallisation, und wir haben die Kupferamalgame als eine Reihe isomorpher Mischkristalle anzusehen. Die Abbindungszeit wird durch einen Kupferzusatz, der ja wohl den Hauptprozentsatz der kleinen Komponenten ausmacht, verlangsamt. Wie Fenchel schreibt, lassen sich noch nach 9 Tagen Veränderungen feststellen. Er sagt: „Dies ist um so bemerkenswerter, als die bekannte Art der Herstellung des Kupferamalgams und die mehrfache, starke Erhitzung bei der Zubereitung vor dem Füllen eine weit schnellere Gleichgewichtslage gewährleisten sollten, als dies bei dem Zinnamalgam möglich ist.“ Nachdem ich aber die Trennung der Abbindung in einen chemischen und einen kristallinen Vorgang durchgeführt habe, ist die Verlangsamung der Abbindung durch Kupferzusatz vollkommen natürlich und verständlich.

Die anderen Zusätze von Gold, Platin, Zink usw. haben hauptsächlich Einfluß auf die Härte des Amalgams, auf seine chemische Widerstandsfähigkeit und auf sein kosmetisches Aussehen. Dagegen spielen sie, da ja ihr Prozentsatz so unwesentlich ist, hinsichtlich der Abbindungsdauer keine Rolle.

Nachdem ich das Wesen der Abbindung im allgemeinen besprochen habe, möchte ich nun im engeren Sinne auf die Abbindungsdauer selbst zu sprechen kommen.

Durch Einteilung der Abbindungszeit in drei verschiedene Abbindungsphasen habe ich die Möglichkeit gegeben, den Abbindungsvorgang nicht mehr insgesamt als einen Prozeß zu betrachten, sondern vielmehr jede Phase für sich als ein abgeschlossenes Ganzes.

Das Zeitintervall, das von dem Augenblick reicht, an welchem ich Quecksilber und Legierung zusammenbringe, und bis dahin geht, wo sich das Amalgam nicht mehr verarbeiten läßt, betrachte ich als die

erste Abbindungszeit. Die Spanne von diesem Punkt bis zu dem, an welchem die Füllung einem leichten Kaudruck ausgesetzt werden kann, bezeichne ich als die zweite Abbindungszeit, und als die dritte schließlich die, die von hier bis zur vollständigen Erhärtung des Amalgams reicht. Durch diese getrennte Betrachtung der 1., 2. und 3. Abbindungszeit ist es mir in weitgehendstem Maße möglich, nicht nur überhaupt die Gründe ihrer Beschleunigung oder ihrer Verlangsamung zu erforschen, sondern sie speziell in den einzelnen Abbindungsphasen zu werten und das Verhältnis zueinander zu bestimmen.

Es sind mehrere sehr wichtige Momente, die die Abbindungszeit der Amalgame beeinträchtigen. Von großem Einfluß sind:

a. die Temperaturen, die vor, während und nach dem Anrühren auf das Amalgam wirken,
b. die verschiedenen Legierungen,
c. die Temperung,
d. die Quecksilberdosierung,
e. die Art des Anrührens,
f. die Form der Verspanung,
g. die Korngröße des Materials.

Wichtig für uns sind nun die Erhärtungsgeschwindigkeiten der Amalgame unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Punkte.

Ich bediente mich bei meinen Untersuchungen eines von Dieck angegebenen Apparates, durch den sich der Stand der Erhärtung bestimmen läßt.

Man denke sich diesen Apparat ungefähr wie folgt:

Ein Stab, an dessen einem Ende ein Teller und an dem anderen eine Nadel befestigt ist, läuft durch eine Führung. Unterhalb der Führung hat der Stab einen Ring, der den Weg des Stabes auf einen Hebel (Zeiger) überträgt. Durch diesen Zeiger wird nun der Weg des Stabes in zwanzigfacher Vergrößerung auf einer Skala angezeigt. Man kann also somit die Eindringtiefe der Nadel in das Amalgam bestimmen.

Daß die Temperaturen einen entscheidenden Einfluß auf die Dauer der 1. Abbindungszeit haben, ist wohl jedem verständlich. Weniger bekannt dürfte indessen sein, daß beim Anrühren von Amalgamen Temperaturen bis zu 60 Grad keine Seltenheit sind. Wir haben es also bei unseren Betrachtungen mit keinen unfruchtbaren, theoretischen Erörterungen zu tun, sondern mit praktischen Fragen, mit denen sich der Zahnarzt auseinanderzusetzen hat, weil sie in seiner Praxis selbst vorkommen.

Wodurch werden nun diese erhöhten Temperaturen hervorgerufen? Einmal und zum großen Teil durch die Intensität des Anrührens, das heißt, durch die Reibung und zweitens durch die Reaktionswärme, die entsteht, wenn sich $3Ag + 4Hg$ zu Ag_3Hg_4 bilden. Wir haben hier eine exotherme Reaktion vor uns, und das Material wird um so wärmer, je schneller die Anreibung vor sich geht. Außerdem spielt die Handwärme eine nicht zu unterschätzende Rolle. Allerdings tritt diese Handwärme nur in der Ampulle auf, oder wenn das Amalgam, wie es ja leider noch recht oft geschieht, in der Hand angerührt wird. Selbstverständlich fal-

len auch noch Temperaturunterschiede, die durch die verschiedenen Außentemperaturen hervorgerufen werden, ins Gewicht. Haben wir doch Temperaturunterschiede von 20 Grad und mehr.

Wie wirkt nun diese Wärme auf den Abbindungsvorgang ein? Im allgemeinen kann man sagen, daß die Abbindungszeit umgekehrt proportional der Temperatur ist. Je höher also die Temperatur ist, um so kürzer ist die erste Abbindungszeit. Wir wollen hierbei nun die erste Abbindungszeit betrachten, weil wir damit rechnen können, daß bei der zweiten sowie der dritten Abbindungszeit, die sich ja im Munde abspielen, die Temperaturen überall ziemlich gleich sind, nämlich rund 37 Grad Celsius, so daß hier Veränderungen der Abbindungszeit, hervorgerufen durch Temperaturdifferenzen, kaum vorkommen.

Wie wir aus der Physik wissen, ist Wärme nichts als eine mehr oder minder schnelle Bewegung der Moleküle. Treten also 2 Stoffe zusammen, die miteinander reagieren, so wird diese Reaktion um so schneller vor sich gehen, je eher die verschiedenen Moleküle sich treffen. Ist also die Bewegung schneller, dann wird die Wahrscheinlichkeit, daß ein Molekül des einen Stoffes ein Molekül des anderen Stoffes trifft, immer größer; dasselbe gilt natürlich auch umgekehrt. Man drückt sich dabei chemisch so aus, daß man sagt, die Reaktionsgeschwindigkeit wächst mit steigender Temperatur. Wird die Anreibung nun sehr langsam vorgenommen, so tritt wohl dieselbe Reibungswärme auf, aber diese Wärmemenge verteilt sich auf größere Zeitabschnitte und geht zum großen Teil durch Ausstrahlung und Abkühlung wieder verloren. Ebenso ist es bei der Reaktionswärme. Bei langsamer Anreibung geht ein Teil der Wärme verloren, während bei Methoden, die ein schnelleres Anrühren gestatten (Ampulle, Schüttelapparat), die auftretende Reaktionswärme eine immer schneller werdende Reaktionsgeschwindigkeit bewirkt.

Natürlich bringen sowohl ein zu langsames, als auch ein zu schnelles Anrühren Nachteile mit sich. Die Nachteile eines zu langsamen Anrührens liegen darin begründet, daß eine ungleichmäßige Erhärtung dadurch eintritt, daß ein Teil der Feilung schon amalgamiert ist und demnach schon anfängt zu erhärten, während ein anderer Teil erst nach 2—3 Minuten in diesen Amalgamierungszustand eintritt. Die Kristallbildung wird also beim Stopfen der Füllung dauernd bei einem Teil des Amalgams gestört und Brüchigkeit und mangelnde Härte sind die Folgen. Die Schädigungen durch zu schnelles Anrühren werden dadurch hervorgerufen, daß die Erhärtung in der 1. Abbindungsphase zu schnell vor sich geht, so daß dem Praktiker keine Zeit bleibt zum ordnungsgemäßen Legen seiner Füllung.

Durch ganz verschiedene Ursachen also kommen wir sowohl bei zu langsamem als auch bei zu schnellem Anrühren zu denselben Mängeln.

Welche Zeit ist nun für uns die richtige? Nehmen wir an, daß ein Amalgam zwei Minuten angerührt wird und der Praktiker fünf Minuten braucht, um seine Füllung zu legen, geben wir noch eine Minute dazu, um den Abstand vom Beginn der 2. Erhärtung zu wahren, so muß die erste Erhärtung also mindestens acht Minuten betragen.

Die Ampulle wird nun in weitgehendstem Maße dieser Forderung

gerecht, erlaubt sie doch einmal, die Anreibung in einer 3mal so schnellen Zeit als im Mörser durchzuführen, andererseits bringt sie aber auch die enorme Wärme des Schüttelapparates nicht mit sich. Man kann in der Ampulle die Anreibung sowie die Wärmeentwicklung nach eigenem Ermessen variieren und dabei darauf achten, daß einmal die Anreibung in kurzer Zeitspanne vollendet ist, und andererseits kann man zugleich eine zu große Wärmeentwicklung vermeiden.

Für meine Versuche verwandte ich die Jota-Prüfmaschine (D. R. P.), die es mir ermöglicht, das Amalgam unter den verschiedensten Temperaturen anzurühren.

Ich habe ein bestimmtes Amalgam stets auf dieselbe Art und Weise und mit derselben Zeitdauer amalgamiert. Dies war mir am besten mit der Ampulle möglich, die ich auch zu meinen Versuchen benutzte. Beim erstenmal amalgamierte ich bei 20 Grad, beim zweiten Versuch bei 40 Grad und beim dritten bei 70 Grad. Alsdann habe ich hiervon je 3 Amalgamstücke von 5 mm hergestellt, und zwar auf die Weise, daß ich das Amalgam in 5 mm tiefe Löcher unter normalem Druck gestopft habe. Die Oberfläche wurde alsdann geplättet, und dieses Amalgam hierauf auf seine Abbindungszeit geprüft, und zwar führte ich dies so durch, daß ich nach gewissen Zeitabschnitten die Eindruckstiefe der Nadel in das Amalgam prüfte. Den Teller des Prüfapparates habe ich hierbei mit 2 kg belastet.

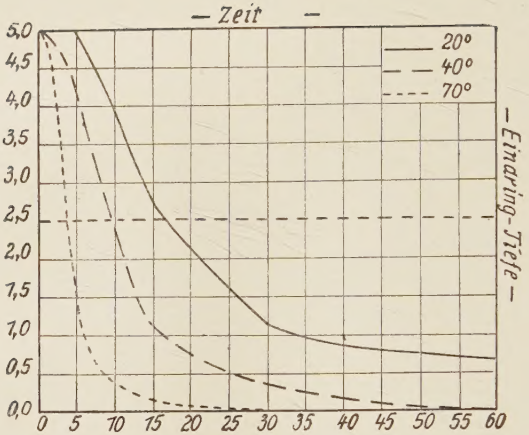
Erwähnen muß ich noch, daß, nach Probeuntersuchungen zu urteilen, die Verarbeitungsmöglichkeit des Amalgams aufhört, wenn die Nadel 2,5 mm eingedrungen ist. Zu diesem Zeitpunkte kann demnach die erste Abbindungszeit als beendet angesehen werden.

Hierbei fand ich nun folgendes Ergebnis:

Tabelle der Abbindungsdauer bei Temperaturen von:

Zeit	20° C.	40° C.	70° C.
4 Min.	5,0	4,4	2,25
5 „	4,9	4,15	1,45
7 „	4,6	3,5	0,8
10 „	3,9	2,5	0,4
15 „	2,67	1,1	0,1
20 „	2,14	0,74	0,08
30 „	1,13	0,35	—
40 „	0,86	0,15	—
50 „	0,73	0,04	—
60 „	0,62	—	—
70 „	0,5	—	—

Noch schöner und auffälliger sehen wir die Unterschiede an Kurven dargestellt:



All diese Werte bedeuten natürlich nur einen Mittelwert aus mehreren Versuchen. Wir sehen aus der Tabelle und den Kurven sehr deutlich, wie stark die Temperaturen auf die Dauer der Abbindung eines Amalgams einwirken, und meine Behauptung, daß die Abbindungsdauer um so schneller sei, je höhere Temperaturen vorhanden sind, habe ich hiermit bewiesen.

Die verschiedenen Legierungen sind für die Abbindungsdauer von großer Bedeutung.

Während man in Amerika fast ausschließlich Amalgame mit 67 % Silbergehalt verarbeitet, verwendet man in Deutschland noch sehr viel Amalgam mit einem Silbergehalt von 50 %. Erst in den letzten Jahren ist auch bei uns das Interesse an den 67%igen Amalgamen größer geworden. Ein sogenanntes 50%iges Amalgam besteht aus 50% Silber und 50% Zinn, und man nennt es, da es mit Quecksilber zusammen 3 Komponenten enthält, ein ternäres Amalgam zum Unterschied von Amalgamen mit nur 2 Komponenten, wie z. B. das reine Kupferamalgam, das dann als ein binäres bezeichnet wird, oder, wenn es 4 Komponenten enthält, als ein quarternäres usw.

Wir wissen, daß, je höher der Silbergehalt eines Amalgams ist, um so höher auch seine Aufnahmefähigkeit für Quecksilber wird. Die Abbindungsdauer eines Amalgams verkürzt sich mit steigendem Silbergehalt, denn die Abbindungszeit ist ja vom Verhältnis des chemischen zum kristallinen Vorgang abhängig. Bildet sich also viel Ag_3Hg_4 und entsprechend wenig 8Sn, Hg, so überwiegt der chemische Vorgang, und die Abbindungszeit wird immer weiter heruntergedrückt. Umgekehrt überwiegt der kristalline Vorgang, die Bildung des Mischkristalls 8Sn, Hg, so wird die Abbindungszeit dementsprechend vergrößert. Mit sinkendem Silbergehalt wird der kristalline Vorgang vergrößert und die Dauer der Abbindung verlangsamt.

Bei dem 67%igen Amalgam wird nun vielfach noch 3—4% Kupfer beigemengt. Das Kupfer wirkt verlangsamend auf die Abbindung, da

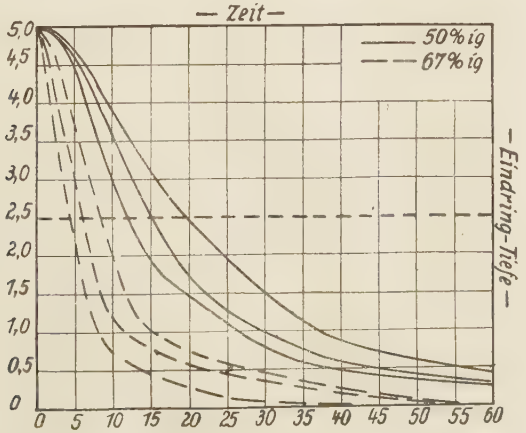
sich zwischen Kupfer und Quecksilber Mischkristalle bilden, was als kristalliner Vorgang eine Verlangsamung der Abbindung mit sich bringt. Daß es außer Kupfer noch andere Zusätze zu den Legierungen gibt, haben wir schon erwähnt, diese nehmen aber wegen ihres minimalen Prozentsatzes keinen Einfluß auf die Abbindungsdauer der Amalgame.

Um nun zu zeigen, daß die Abbindungsdauer von der Zusammensetzung der Legierung in großem Maße abhängig ist, nahm ich 6 verschiedene Amalgame verschiedenen Fabrikates, und zwar 3 mit einem Silbergehalt von 50% und 3 mit einem Silbergehalt von 67%. Ich rührte alle Amalgame mit der für sie vorgeschriebenen Quecksilbermenge an und erhielt folgende Abbindungszeiten:

Tabelle der Abbindungszeit bei Legierungen von:

Zeit	50 % Silber			67 % Silber		
	I	II	III	I	II	III
5 Min.	4,5	4,6	4,74	3,05	2,25	3,7
10 „	3,0	3,55	3,92	1,15	0,65	2,0
15 „	1,9	2,5	3,11	0,8	0,45	1,1
20 „	1,45	1,74	2,48	0,55	0,26	0,76
30 „	0,78	0,98	1,49	0,35	0,08	0,45
40 „	0,47	0,57	0,86	0,15	0,02	0,22
50 „	0,35	0,41	0,61	0,05	—	0,06
60 „	0,25	0,3	0,43	—	—	0,01
70 „	0,14	0,15	0,3	—	—	—
90 „	0,01	—	0,06	—	—	—
100 „	—	—	0,02	—	—	—

Anschaulicher ist der Unterschied wiederum in Kurven dargestellt:



Natürlich sind die hier angegebenen Zahlen wiederum nur Mittelwerte aus mehreren Untersuchungen. Ich habe damit gezeigt, daß die Höhe des Silbergehaltes auf die Dauer der Abbindung einen entscheidenden Einfluß ausübt. Am deutlichsten zeigen uns die Kurven, um wieviel schneller ein 67%iges Amalgam abbindet gegenüber einem mit nur 50% Silbergehalt. Daß die Abbindungsdauer der einzelnen Markenamalgame gleichen Silbergehaltes auch unterschiedlich ist, mag wohl an der verschiedenen Herstellungsart der Firmen liegen. Daß der Unterschied zwischen den 50%igen und den 67%igen Amalgamen nicht noch stärker ins Gewicht fällt, liegt daran, daß bei den Amalgamen mit 67% Silbergehalt 3—4% Kupfer beigemengt ist, was ja bekanntlich die Abbindungsdauer verlangsamt.

Als nächstes möchte ich nun die Einwirkung der Temperung auf die Abbindungsgeschwindigkeit der Amalgame behandeln.

Wir wissen, daß der Abbindungsvorgang um so langsamer vor sich geht, je mehr Kristalle vorhanden sind, denn die kristallisierten Produkte werden vom Quecksilber viel langsamer angegriffen als die amorphen. Da nun bei einem getemperten Material sehr viel, bei einem ungetemperten dagegen nur wenig Kristalle vorhanden sind, ist die Abbindungsdauer bei getemperten Amalgamen natürlich länger, als bei ungetemperten. Daraus ist auch ohne weiteres erklärlich, daß, je länger die künstlicheAlterung vor sich geht, je länger also das Amalgam getempert wird, desto langsamer auch seine Abbindungsdauer wird.

Außer der Dauer der Temperung muß natürlich auch beachtet werden, unter welchen Temperaturen ein Amalgam künstlich gealtert wird.

Ich verwandte nun ein Amalgam, das frisch gefeilt war, und führte damit meine Untersuchungen auf folgende verschiedene Arten durch:

Zunächst prüfte ich die Abbindungsdauer dieses frisch gefeilten Materials, ohne es vorher zu tempern. Es zeigte sich, daß die Nadel nach

5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.
0,76	0,55	0,36	0,28	0,22	0,19	0,17

mm in das Amalgam eindringt. Wir sehen, daß die erste Abbindungszeit eine viel zu schnelle ist, weshalb das ungetemperte Material schon nicht gebraucht werden kann. Außerdem wäre die 2. Abbindungszeit auch viel zu lang.

Hierauf nahm ich wieder frisch gefeiltes Amalgam und erhitzte es auf 60 Grad Celsius. Bei einem Teil hiervon brach ich die Temperung nach einer halben Stunde ab, bei einem anderen nach 1 Stunde und bei einem 3. Teil nach $1^1/_2$ Stunden. Dieselben Untersuchungen stellte ich mit anderen Mengen derselben Feilung an, nur erhitzte ich dabei einmal auf 100 Grad, dann auf 120 und endlich auf 140 Grad. Nach der verschiedenen Temperung des Materials prüfte ich jedes einzelne auf seine Abbindungsdauer.

Tabellen der Abbindungsdauer bei verschiedener Temperung:
Temperung ½ Std., 1 Std. und 1½ Std. lang.

a) bei einer Temperatur von 60 Grad.

	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.
½ Std.	1,2	0,82	0,69	0,6	0,45	0,32	0,19	0,06
1 „	1,3	0,95	0,82	0,73	0,6	0,45	0,35	0,25
1½ „	1,35	1,2	1,12	0,9	0,65	0,42	0,32	0,25

b) bei einer Temperatur von 100 Grad.

	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.
½ Std.	3,8	2,4	1,9	1,53	1,15	0,95	0,65	0,45
1 „	4,1	2,9	2,05	1,65	1,2	0,92	0,68	0,45
1½ „	4,2	3,05	2,2	1,7	1,3	1,0	0,72	0,5

c) bei einer Temperatur von 120 Grad.

	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.
½ Std.	4,2	3,1	2,21	1,7	1,15	0,74	0,5	0,4
1 „	4,6	3,25	2,95	1,95	1,45	1,1	0,75	0,35
1½ „	4,8	3,85	3,48	2,1	1,7	1,35	0,85	0,5

d) bei einer Temperatur von 140 Grad.

	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.
½ Std.	5,0	4,9	3,6	2,75	2,45	2,15	1,35	0,95
1 „	5,0	5,0	4,5	3,6	2,55	2,15	1,65	1,0
1½ „	5,0	5,0	4,5	3,7	2,6	2,2	1,65	1,1

Aus diesen Tabellen ersehen wir — die übrigens annähernd die Angaben von Fasen hierüber bestätigen —, daß, je länger ein Amalgam der künstlichen Alterung ausgesetzt wird, desto langsamer seine Abbindung vor sich geht. Außerdem ergeben steigende Temperaturen, unter denen ein Amalgam getempert wird, ebenfalls eine Verlängerung der Abbindungsdauer. Man muß also bestrebt sein, die Dauer der Temperung und die Höhe ihrer Temperaturen so einander anzupassen, daß die Abbindungsdauer unseren Anforderungen gerecht wird, daß also die erste Abbindungszeit nicht allzu kurz ausfällt, dagegen die zweite möglichst rasch zu Ende geht. Dies scheint mir bei dem von mir verwandten Amalgam am günstigsten zu sein, wenn es ungefähr eine Stunde lang bei rund 100 Grad Celsius getempert wird. Die dritte Abbindungszeit spielt demgegenüber eine weniger wichtige Rolle, und man kann sagen, daß sie im allgemeinen zwischen dem 5. und 7. Tag beendet ist.

Ein richtiges Dosierungsverhältnis zwischen Amalgamierung und Quecksilber ist für die Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit, wie für die Abbindungsdauer des Amalgams durchaus ausschlaggebend.

Jedem Markenamalgam ist daher auch ein bestimmtes Mischungsverhältnis beigegeben, das zuvor vom Hersteller genauestens untersucht und als am geeignetsten befunden worden ist. So werden Mischungsverhältnisse angegeben für:

Durocont Folien und Feilung:
5 Gewichtsteile Amalgam
4 „ Quecksilber

Durocont Nadelform
5 Gewichtsteile Amalgam
6 „ Quecksilber

Degussa N-Amalgam 670 Feilung:
5 Gewichtsteile Amalgam
6 „ Quecksilber

Degussa Folienamalgam (Dr. Richter's):
5 Gewichtsteile Amalgam
4—4,5 „ Quecksilber

Der Zahnarzt sollte sich an diese Vorschriften halten, denn ein Abweichen davon bedeutet zumindest eine Materialverschlechterung. Wie leicht aber eine Überdosierung außerdem auf ihn selbst, wie auf den Patienten schädlich wirken kann, ist oft genug gesagt worden.

Es ist daher unbedingt erforderlich, daß in jeder Praxis das Amalgam genauestens dosiert wird, und dies kann mit Hilfe eines Dosierapparates geschehen.

Geradezu ideal ist diese Frage mit der Jota-Ampulle gelöst. Hier sind Feilung und Quecksilber schon richtig dosiert in der Ampulle, und man ist gewiß, daß auch kein Quecksilber verloren geht, da der Dosierbehälter auch gleichzeitig Anrührbehälter ist. Es sind also hier zwei günstige Momente auf einmal gegeben, die richtige Dosierung und eine ideale Anrührmethode, die gewährleistet, daß keine Feilung und vor allem kein Quecksilber verloren geht. Außerdem kann keine Berührung mit dem Quecksilber stattfinden.

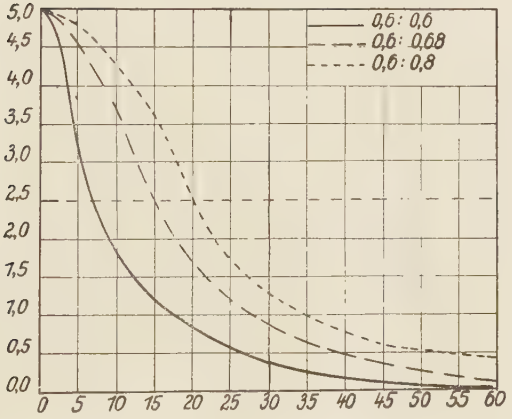
Wie wirkt nun verschiedene Dosierung auf die Abbindungsdauer eines Amalgams ein? Eine Überdosierung hat eine Verlangsamung der Abbindungsgeschwindigkeit zur Folge, eine Unterdosierung führt dagegen zu einer Verkürzung der Abbindungsdauer.

Meine Untersuchungen haben die Angaben, die Schmitz in seiner Arbeit „Die Einwirkung der Quecksilberdosierung auf die Werte der Amalgame" machte, abgesehen von nur geringen Abweichungen, voll und ganz bestätigt.

Meine Untersuchungen hierüber habe ich bei Dosierungen von 1 : 1, 1 : 1,15, 1 : 1,35 und 1 : 1,5 durchgeführt. Die Prüfung über die Abbindungsdauer der verschieden dosierten Amalgame führte ich wie immer durch und erhielt folgende Mittelwerte:

Tabelle der Abbindungsdauer bei Dosierungen von:

Zeit	1 : 1	1 : 1,13	1 : 1,35
5 Min.	3,22	4,53	4,79
10 „	1,84	3,75	4,26
15 „	1,21	2,54	3,65
20 „	0,86	1,73	2,56
25 „	0,57	1,21	1,73
30 „	0,36	0,86	1,29
40 „	0,14	0,48	0,76
50 „	0,06	0,24	0,53
60 „	0,01	0,09	0,41
70 „	—	0,02	0,29
80 „	—	—	0,14
90 „	—	—	0,06



Das relativ günstigste Dosierungsverhältnis für unser Amalgam ist also 1 Gewichtsteil Legierung zu 1,13 Gewichtsteile Quecksilber. Eine nur kleine Abweichung hiervon ist natürlich von nicht allzu großer Bedeutung. Eine Unterdosierung tritt jedoch schneller in Erscheinung, als eine Überdosierung, wie die Tabelle deutlich beweist.

Nach dem Gesagten ist unsere Abbindungsdauer bei richtiger und genauer Dosierung (1 : 1,13) ausreichend und günstig. Zwischen 10 und 15 Minuten haben wir das Ende der ersten Abbindungszeit und nach 65—70 Minuten kann die Füllung schon einem leichten Kaudruck ausgesetzt werden. Daß hierbei eine überaus vorteilhafte Kantenfestigkeit vorliegt und die Druckfestigkeit verhältnismäßig hoch ist, beweist Schmitz in seiner Arbeit. Praktiker mögen sich also hüten, eine Verlangsamung oder eine Verkürzung der Abbindungsdauer durch Über- oder Unterdosierung von Amalgamen erreichen zu wollen.

Beim Anrühren des Amalgams ist es von größter Wichtigkeit, eine möglichst innige Verreibung zwischen Legierung und Quecksilber zu erreichen. Die feste und die flüssige Masse müssen so ineinander aufgehen, daß das Amalgam nach der Anreibung einer Paste gleicht und sich auf keinen Fall noch sandig anfühlt. Die Anrührzeit soll eine möglichst kurze sein, damit die Füllung schon im ersten Teil der ersten Abbindungszeit gelegt werden kann, um die Kristallisation, die ja leider, wenn auch nur in geringem Maße, sofort einsetzt, möglichst wenig zu stören.

Wir kennen im allgemeinen 3 Anrührmethoden:

Mörser,
Schüttelapparat,
Ampulle.

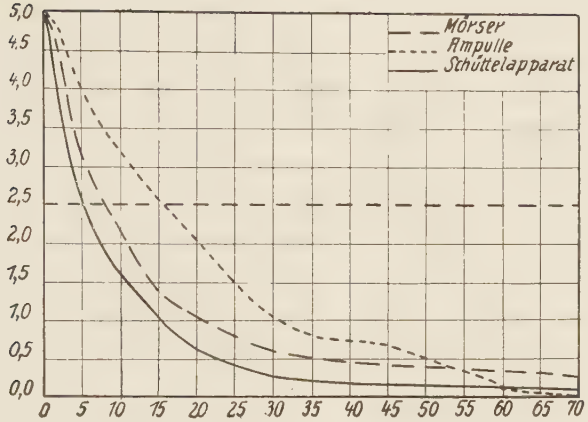
Um meine Untersuchungen durchführen zu können, mußte ich bei allen drei Anrührarten unter den gleichen Vorbedingungen arbeiten. Ich benutzte eine quarternäre 67%ige Silberamalgamfeilung der Jotawerke, die aus

67,5% Silber,
27 % Zinn,
4,5% Kupfer,
1 % Zink

bestand. Feilung und Quecksilber habe ich nach angegebenem Verhältnis gemischt, und zwar bei ein und derselben Temperatur. Die Anrührzeit betrug 2 Minuten. Kind gibt allerdings bei seinen Versuchen eine Anrührzeit von $2^1/_2$ Minuten an, doch dürften, wie mir einige Probeversuche zeigten, 2 Minuten vollkommen ausreichen. Zuerst rührte ich also auf die bekannte Art im Mörser an und prüfte die Abbindungsdauer wie bei meinen bisherigen Versuchen. Sodann benutzte ich die Ampulle und schließlich den Schüttelapparat. Folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte von je 3 Untersuchungen:

Tabelle der Abbindungsdauer bei den Anrührmethoden in

Zeit	Mörser	Ampulle	Schüttel-apparat
5 Min.	3,1	3,94	2,51
10 „	2,15	3,21	1,61
15 „	1,35	2,55	1,05
20 „	1,05	2,04	0,61
30 „	0,6	1,05	0,25
40 „	0,45	0,75	0,2
60 „	0,35	0,12	0,12
70 „	0,28	0,02	0,11
80 „	0,19	—	0,09
100 „	0,01	—	—
110 „	0,01	—	—
120 „	—	—	—



Wir sehen aus Tabelle und Kurve deutlich, wie verschieden sich diese 3 Anrührmethoden auswirken.

Die günstigsten Ergebnisse zeigte die Jota-Ampulle. Die erste Abbindungsdauer ist einerseits so ausreichend lange, daß selbst bei einer großen Kavität genügend Zeit zum Legen der Füllung vorhanden ist; andererseits ist die zweite Abbindungszeit verhältnismäßig kurz, so daß die Füllung schon nach ca. 75 Minuten einem leichten Gegendruck standhalten kann. Zwei Momente also, die wir von jedem Amalgam fordern, eine ausreichend lange 1. und eine möglichst kurze 2. Abbindungszeit, sind hier vereint gegeben. Weniger günstig wirkt sich das Anrühren im Mörser aus. Die 1. Abbindungszeit ist hier etwas kürzer und die 2. bedeutend länger. Alles in allem kann man sagen, daß diese Methode bedeutend ungünstiger abschneidet als Anrühren in der Ampulle, aber sich durchaus noch in möglichen Grenzen hält. Anders verhält es sich nun mit der Schüttelmethode. Diese Art des Anrührens möchte ich eigentlich ablehnen, da die 1. Abbindungszeit zum sorgfältigen Legen einer Füllung doch wohl zu kurz ist. Ein günstigeres Resultat läßt sich erzielen, wenn die Anrührzeit etwas verkürzt wird, oder wenn ein kleines Quantum Quecksilber mehr gegeben oder die Tourenzahl des Apparates heruntergesetzt wird.

Als nächstes möchte ich nun die Form der Verspanung des Amalgams in Bezug auf die Abbindungsdauer einer näheren Betrachtung unterziehen.

Wie bekannt, kommen 3 verschiedene Amalgamformen in den Handel:

Folien,
Spitzen,
Feilung.

Diejenige Form wird die günstigste sein, die die schnellste und homogenste Mischung mit Quecksilber gewährleistet. Je größer die Oberfläche im Verhältnis zur Masse ist, um so größer ist die Angriffsfläche für das Quecksilber, und um so schneller wird die Amalgamation erreicht sein. Mit zunehmender Zerkleinerung wird auch eine zunehmende Oberfläche

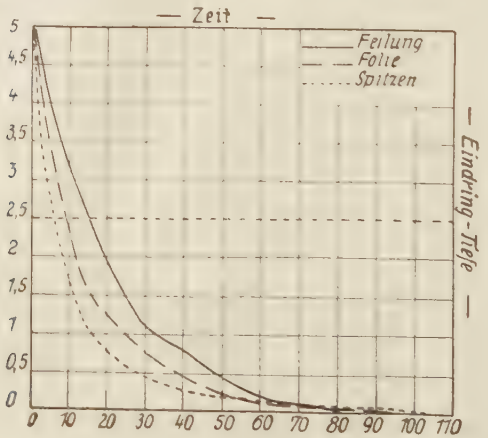
geschaffen und dadurch eben eine größere Angriffsfläche für das Quecksilber erzielt.

Folien haben nun rein äußerlich ein verhältnismäßig großes Aussehen, und man vermutet eine geringe Oberfläche. Es handelt sich hier jedoch nicht um ein einheitliches Gebilde, sondern um kleine Teilchen, die mit einer Walze zusammengepreßt wurden und beim Anrühren nun mehr oder minder leicht wieder zerfallen. Bei den Spitzen ist die Oberflächenvergrößerung in der Weise zu lösen versucht, daß man die einzelnen Teilchen wohl verhältnismäßig groß ließ, jedoch durch eine geeignete Nadelform das Verhältnis Oberfläche zu Volumen auf ein Maximum brachte. Bei der Feilung hat man auf eine bestimmte Form verzichtet und nur durch eine Verkleinerung die Oberfläche vergrößert.

Um nun die Abbindungsdauer bei diesen verschiedenen Verspanungen zu untersuchen, nahm ich eine Stange gegossenen Amalgams und verspante diese teils in Nadelform und teils als Feilung. Den feinsten Staub der Feilung siebte ich ab und preßte ihn durch Walzen zu Folien. Hierauf wurden alle 3 Verspanungsarten unter gleichen Bedingungen getempert und angerieben. Die Erhärtungsgeschwindigkeit prüfte ich dann wieder auf dieselbe Art wie bei meinen vorigen Untersuchungen und bekam folgende Mittelwerte als Ergebnis:

Tabelle der Abbindungsdauer bei verschiedener Verspanung.

Zeit	Feilung	Folie	Spitzen
5 Min.	3,97	3,47	2,75
10 „	3,21	2,45	1,79
15 „	2,54	1,59	1,06
20 „	1,95	1,25	0,77
30 „	1,09	0,74	0,45
40 „	0,71	0,45	0,27
60 „	0,19	0,12	0,16
80 „	0,01	0,04	0,06
90 „	—	0,01	0,02
100 „	—	—	0,01
110 „	—	—	—



Aus Tabelle und Kurve ersehen wir, daß auch hier wieder ein erheblicher Unterschied in Bezug auf die Abbindungsdauer bei den verschiedenen Verspanungsformen besteht. Als am besten geeignet können wir also Feilung bewerten, die uns die günstigste 1. Abbindungsdauer gewährleistet und daneben auch die kürzeste 2. Abbindungszeit. Etwas weniger günstig sind Folie und Spitzen zu beurteilen.

Unbedingt ist, wie schon gesagt, darauf zu achten, daß die Oberfläche der verspantenMasse möglichst groß ist. Wird die Legierung zu unregelmäßig und grob verspant, ist also die Korngröße des Amalgams zu grob, so ergeben sich Nachteile bezüglich seiner Abbindungsdauer und Haltbarkeit.

Schon rein äußerlich kann man feststellen, ob die Teilchen zu grob verspant waren, wenn sich das frisch angerührte Amalgam sandig und körnig anfühlt. Es befinden sich eben dann noch immer unamalgamierte Teilchen in der angerührten Paste, die einerseits wie Fremdkörper wirken und den homogenen Aufbau der Amalgame schädigen, andererseits sich immer weiter amalgamieren und somit den umliegenden Partien Quecksilber entziehen und diese dadurch zu quecksilberarm machen. Man kann sagen, je größer die Korngröße des Pulvers ist, um so weniger Quecksilber wird verarbeitet. Aber nur deshalb ist der Quecksilberverbrauch so gering, weil eben große Prozentsätze der Feilung noch nicht amalgamiert sind. Diese Amalgamierung geht überaus langsam vor sich, und wie wir schon vorher bemerkten, reißen diese noch nicht amalgamierten Körner aus ihrer Nachbarschaft immer weiter Quecksilber an sich und machen schließlich das ganze Amalgam zu quecksilberarm.

Die Beeinträchtigung eines Amalgams, hervorgerufen durch Unterdosierung, haben wir schon betrachtet und gesagt, daß die Abbindungsdauer eines solchen Amalgams zu langsam ist. Durch diese zu langsame Abbindung treten Spannungen innerhalb des Gefüges auf, die die Elastizität stark beeinträchtigen. Die endgültige Erhärtungszeit kann oft bei solchen Amalgamen erst nach Wochen und Monaten eintreten, da das Gleichgewicht durch die unamalgamierten Teilchen dauernd gestört wird.

Doch wird ein solches Amalgam wohl heute kaum mehr in den Handel kommen, so daß wir mit einer solch unvorhergesehenen großen Abweichung durch zu grobe Verspanung praktisch kaum zu rechnen haben.

Unter Formveränderung der Amalgame verstehen wir die Tatsache, daß sich die Amalgame bei und nach dem Erhärten contrahieren bzw. expandieren. Diesem Vorgang müssen wir natürlich besondere Beachtung schenken.

Es ist wohl klar, daß eine Kontraktion des Amalgams einen schlechten Randschluß zur Folge hat, daß Bakterien dadurch Gelegenheit geboten ist, in die Kavität zu gelangen und eine Sekundärcaries zu verursachen. Eine zu große Expansion dagegen ruft Spannungen hervor, die, wie schon erwähnt, so groß werden können, daß ein Zahn mit schwachen Wandungen gesprengt wird.

Folgender Versuch zeigt uns, wann eine Expansion oder eine Kontraktion stattfindet.

Wir nehmen ein Glasröhrchen von 8 mm Innendurchmesser und füllen dieses mit ungetempertem 67%igen Amalgam. Nach 24 Stunden ist die Spannung, die durch die Expansion bewirkt wird, so groß geworden, daß das Glasröhrchen gesprengt wird.

Bei einem anderen Versuch nehmen wir ein langgetempertes 50%iges Amalgam und bringen dieses in die Mitte eines Glasröhrchens von demselben Durchmesser. Den unteren Teil des Röhrchens füllen wir nach dem Erhärten des Amalgams mit Zinkoxyd auf, und den oberen Teil mit einer Farblösung. Man kann nun feststellen, daß eine Kontraktion stattfindet, da die Farblösung zwischen Amalgam und Glaswand hindurchsickert und das darunter befindliche Zinkoxyd färbt. Wir sehen auch, daß eine ziemlich große Kontraktion stattfinden muß, denn das darunter befindliche Zinkoxyd wird in großer Dicke gefärbt. Die Ausmaße von Kontraktion und Expansion zeigen diese Versuche leider nicht.

Wodurch werden nun diese beträchtlichen Differenzen verursacht? Einmal durch starke Expansionen, die das Glas sprengen, andererseits auch Kontraktion, die einer Flüssigkeit ein leichtes Vorbeigleiten zwischen Amalgam und Glaswand ermöglicht. — Zum besseren Verständnis müssen wir auf die chemischen und kristallinen Vorgänge während der Abbindung näher eingehen. Beim chemischen Vorgang handelt es sich um die Bildung einer Verbindung, beim kristallinen um eine Kristallisation. Während es sich beim chemischen Vorgang um die stark expandierende Verbindung Ag_3Hg_4 handelt, sind es beim kristallinen die stark schrumpfenden Mischkristalle, die bei richtiger Dosierung das Verhältnis 8 Sn. Hg besitzen. Da der Mischkristall sehr wenig Quecksilber braucht wird er sich, da für ihn genügend Quecksilber vorhanden ist, zuerst bilden, vor der quecksilberreichen chemischen Verbindung Ag_3Hg_4, die längere Zeit braucht, um die zwischen einzelnen Kristallen feinverteilten Quecksilbertröpfchen zu finden und zu binden. Wir haben also einen Prozeß vor uns, bei dem sich im Laufe der Zeit immer mehr die zugehörigen Mengen finden, bis sich jedes Silberteilchen zu Ag_3Hg_4 verbunden hat.

So erklärt sich der anfänglich etwas eigenartige Vorgang, daß ein Amalgam zuerst eine Kontraktion aufweist, die später aber durch den immer weiter fortschreitenden chemischen Prozeß zunächst verringert wird, um sich schließlich ins Gegenteil zu verwandeln.

Die Expansion ist direkt proportional der Quecksilbermenge. Da ein 50%iges Amalgam sehr wenig Quecksilber aufnimmt, so wird uns auch erklärlich, warum wir bei unserem 2. Versuch eine starke Kontraktion gerade übersteigt. Da die Amalgame keine Haftfähigkeit und höheren Silbergehalt eine größere Quecksilbermenge erforderlich. Das ungetemperte Material tat noch ein übriges, und so erklärt sich die große Expansion.

Es gilt nun den Punkt zu finden, bei dem die Expansion die Kontraktion beobachten konnten. Beim 1. Versuch dagegen war durch den Klebekraft besitzen, ist im Interesse eines guten Randschlusses eine kleine Expansion von 4—10 μ pro cm unbedingt erforderlich.

Betrachten wir nun ein richtig dosiertes und getempertes 67%iges Silberamalgam während der Abbindung unter dem Mikroskop, so beobachten wir nach 10 Minuten eine Kontraktion von 1—2 μ pro cm. Diese verschwindet immer mehr, bis wir nach 2 Stunden zu dem Ausgangspunkt zurückgekehrt sind. Nach 2 Stunden halten sich also die Kontraktion, bewirkt durch die stark schrumpfenden Mischkristalle, und die Expansion, bewirkt durch die schon begonnene Verbindung Ag_3Hg_4 genau die Wage. Aber die Verbindung Ag_3Hg_4 ist quantitativ noch nicht gebildet. Nach 3—4 Stunden bemerken wir schon eine Expansion von 1—2 μ, die ganz langsam innerhalb von 10 Tagen bis auf rund 7 μ ansteigt.

Im einzelnen wurden mit Apparaten der Jota-Werke folgende Ergebnisse festgestellt (— = Kontraktion, + = Expansion):

Zeit	67 %ig	50 %ig
5 Min.	— 1,2 μ	+ 0,1 μ
10 „	— 1,7 „	— 0,5 „
2 Std.	∓ 0,0 „	— 4,1 „
3 Std.	+ 1,2 „	— 4,2 „
4 Std.	+ 1,9 „	—
10 Tage	+ 7,0 „	

Dieser Vorgang zeigt uns, daß das 67%ige Amalgam eine geringe Expansion aufweist, die wir im Interesse eines guten Randschlusses wünschen.

Untersuchungen bei Dr. Schoene, Berlin, zeigen ebenfalls, daß das 67%ige Amalgam einen weit besseren Randschluß gewährleistet, als das 50%ige, jedoch ist hier der Kontrast zwischen beiden nicht so überwältigend stark. Die Messungen wurden mit einem Mikrometer-Mikroskop vorgenommen wie folgt:

Es wurde ein dreieckiger Amalgamstab von 50 mm Länge und 5 mm Seitenbreite benutzt. Die Spitze einer in den Amalgamstab eingelassenen Nadel wird unter ein Mikroskop gestellt. Je nachdem sie sich vorwärts oder rückwärts bewegt, gibt sie Expansion oder Kontraktion an. Eine Beleuchtung von unten projeziert uns die Bewegungen auf eine Skala im Mikrometerokular. Jeder Skalengrad wird wieder durch eine drehbare Trommel in 100 Trommelgrade zerlegt, wobei jeder Grad 0,00015 mm Bewegung bedeutet.

Die Messungen ergaben folgende Ergebnisse:

Zeit	67 %ig	50 %ig
½ Std.	— 5,0	— 10,0
1 „	— 3,5	— 12,0
2 „	± 0,0	— 11,0
3 „	+ 5,0	— 10,0
4 „	+ 12,0	— 8,0
6 „	+ 20,0	∓ 0,0
10 „	+ 70,0	+ 54,0
12 „	+ 80,0	+ 65,0
14 „	+ 84,0	+ 70,0
20 „	+ 84,0	+ 70,0
40 „	+ 84,0	+ 70,0

(Die senkrechten Zahlen bedeuten Trommelgrade, (— = Kontraktion, + = Expansion.)

Mit derselben Apparatur wurden noch Messungen an Amalgamen anderen Fabrikates gemacht, die folgende Ergebnisse aufwiesen:

Zeit	67 %ig	50 %ig
½ Std.	— 5,0	— 8,0
1 „	— 6,0	— 10,0
2 „	— 1,0	— 15,0
3 „	+ 5,0	— 20,0
4 „	+ 11,0	— 22,0
6 „	+ 22,0	— 20,0
10 „	+ 45,0	— 8,0
12 „	+ 58,0	+ 10,0
14 „	+ 68,0	+ 22,0
20 „	+ 84,0	+ 30,0
30 „	+ 95,0	+ 30,0
40 „	+ 95,0	+ 30,0

Wir sehen also bei allen Amalgamen Vorgänge, die sich nach derselben Richtung auswirken, jedoch sehr stark voneinander differieren. In jedem Falle aber ist die Expansion des 67%igen Amalgams günstiger in Bezug auf den guten Randschluß einer Füllung.

Im übrigen sind alle diese Tatsachen noch wenig erforscht und es herrscht hinsichtlich des ganzen Abbindungsvorganges und all seinen Nebenerscheinungen noch ein wirres Durcheinander von Ansichten und Theorien.

Von den zahlreichen Meinungen über die Expansion und Kontraktion der Amalgame seien folgende erwähnt:

Während Macy in seiner Arbeit „Spezifisches Volumen als bestimmtes Merkmal chemischer Verbindungen" bei der Bildung der Verbindung Ag_3Hg_4 eine Kontraktion bis zu 10% fand, spricht Sterner-Rainer hierüber von einer stark expandierenden Verbindung. Bei der Verbindung zwischen Zinn und Quecksilber spricht Sterner-Rainer von einem Mischkristall mit der Zusammensetzung von Sn_8Hg, die stark kontrahieren. Fenchel dagegen fand einen Mischkristall Sn_7Hg, der um 1% expandiert.

Sterner-Rainer gibt an, daß die chemische Verbindung Ag_3Sn einen Hauptteil der Amalgame ausmache, Fenchel sagt, daß diese Verbindung sich unter einer Kontraktion von 5% abspiele und unter 400 Grad Celsius unbeständig sei und bei langsamer Abkühlung sich aufspalte. Durch die Temperung müßte also nach Fenchel bewirkt werden, daß sich überhaupt keine Ag_3Sn-Moleküle in der Legierung befänden.

Wir müssen der Theorie von Sterner-Rainer folgen, trotzdem sie den chemischen Erfahrungen widerspricht. Eine chemische Reaktion ist meist mit einer Kontraktion verbunden, wir müssen aber eine Expansion annehmen, weil mit größerem Silbergehalt, also mit steigendem

Prozentsatz der chemischen Verbindung, die Expansion des Amalgams immer größer wird. Wir haben so für den Mischkristall (Sn_8Hg bei Sterner-Rainer und Sn_7Hg bei Fenchel) unbedingt im Gegensatz zu Fenchel eine Kontraktion anzunehmen, weil bei zunehmenden Mengen dieses Mischkristalls die Kontraktion immer größer wird.

Wenn ich nun am Ende meiner Arbeit nochmals kurz zusammenfassend die Folgerungen aus meinen Untersuchungen ziehe, kann ich ohne weiteres sagen, daß die Abbindungsdauer, speziell die erste wie auch die zweite Phase, bei unseren heutigen Markenamalgamen in jedem Falle so eingerichtet werden kann, wie es im speziellen Falle am günstigsten erscheint. Man muß sich nur genauestens an die Vorschriften halten und die besonderen Umstände, die die Dauer der Abbindung beeinflussen, genügend berücksichtigen. Die wohl gleichmäßigste und beste Abbindungsdauer habe ich fast durchaus mit der Jota-Ampulle erzielt, wobei die erste Abbindungsdauer stets ausreichend, aber nie zu lange war und die zweite möglichst kurz. Gleichzeitig ist hierbei die Gefahr einer Formveränderung des Amalgams — Expansion und Kontraktion — auf ein Minimum beschränkt, da eine Über- oder Unterdosierung praktisch nicht in Frage kommt.

Am Ende meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Zahn- und Kieferkrankheiten in Bonn, Herrn Professor Dr. Proell, für die Überlassung des Themas verbindlichst zu danken. Weiter möchte ich Herrn Direktor Funke der Jota-Werke in Düsseldorf danken, der mir freundlicherweise Prüfmaschinen und Materialien zur Verfügung stellte. Besonderen Dank möchte ich auch Herrn Klauer von den Jota-Werken sagen, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Weiterhin möchte ich den Firmen Heimerle und Meule in Pforzheim, Kripke, Dr. Speier & Co. in Berlin und Dr. Josef Schoene, Dentalfabrik in Berlin, für Bereitstellung von Materialien meinen Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis.

Choulant:	Amalgame. D. Z. W. 1936, Nr. 42.
Fasen:	Der Einfluß der Temperung auf die Eigenschaften des Amalgames. Diss. Bonn 1936.
Fenchel:	Amalgame, Untersuchungs-, Verarbeitungs- und Herstellungsmethoden. Sammlung Meusser, Berl. 1920, H. 9.
„	Neues zur Amalgamfrage, eine Kritik. D. Z. W. 1928.
„	Zur Amalgamfrage. D. Z. W. 1928.
Haber:	Neues zur Amalgamfrage D. Z. W. 1928, Nr. 9.
Kind:	Werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften einer Amalgamfüllung durch die verschiedenen Amalgamierungsmethoden beeinflußt? Diss. Köln 1936.
Kobold:	Folien, Spitzen, Feilung und ihre Eignung zur Amalgamfüllung. Diss. Bonn 1936.
Loebich:	Über schnell härtende Amalgame. Z. R. 1933, Nr. 19.
„	Vergleichende Untersuchungen verschiedener Amalgame mit 67% Silber. D. Z. W. 1930, Nr. 9.
„	Mörser oder Mischmaschine. Z. R. 1933, Nr. 49.
Loebich und Nowack:	Die Eigenschaften der Plombenamalgame und ihre Untersuchungsmethoden. D. Z. W. 1928, Nr. 18.
Maey:	Spezifisches Volumen als bestimmtes Merkmal chemischer Verbindungen. Ztschr. f. physik. Chemie 38, 1901.
„	Zeitschrift für physikalische Chemie 50, 1902.
Ogg:	Zeitschrift für physikalische Chemie 22, 1897, 536.
„	Zeitschrift für physikalische Chemie 27, 1898, 285.
Reinders:	Zeitschrift für physikalische Chemie 54, 1906, 609.
Schmitz:	Die Einwirkung der Quecksilberdosierung auf die Werte der Amalgame. Diss. Bonn 1936.
Sterner-Rainer:	Edelmetallegierungen und Amalgame in der Zahnheilkunde. Meusser, Berlin 1930.
Wannenmacher:	Ein Beitrag zur Amalgamfrage. D. Z. W. 1928.
„	Untersuchungen über die verschiedenen Eigenschaften der Silber-Zinn-Amalgame. D. Z. W. 1929, Nr. 9; 1930, Nr. 13.
„	Untersuchungen über Zinn-Silber-Amalgame. D. Z. W. 1929, Nr. 8.
Witzel:	Das Füllen der Zähne mit Amalgam. Verlagsanstalt Berlin 1899.

Lebenslauf.

Zu Pforzheim wurde ich, Hans Setzepfandt, am 20. Mai 1911 als Sohn des Reichsbankdirektors August Setzepfandt geboren. Durch zahlreiche Versetzungen meines Vaters besuchte ich in vielen Städten die Schule und legte Ostern 1933 im Reformrealgymnasium zu Stuttgart die Reifeprüfung ab. Ich studierte dann Zahnheilkunde in München und Tübingen, wo ich die zahnärztliche Vorprüfung machte. Anschließend studierte ich in München und Bonn und legte dort im Juni 1937 das Staatsexamen für Zahnheilkunde ab.